

УДК 488.20.48/25

МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ

© Провальний Р. А., 2002

Тернопільський державний технічний університет ім. І. Пулюя

Проведений аналіз існуючих методів вимірювання вологості сипких матеріалів, а також засобів, що використовуються при цьому. Пропонується метод вимірювання вологості з використанням ефекту Пельтьє. Наводиться математичне обґрунтування, та алгоритм вимірювання вологості.

Останнім часом, в період активного просування на ринок енерго- та ресурсо-зберігаючих технологій, до розробки обладнання для вимірювання різноманітних параметрів речовин поставлено ряд вимог, справитися з якими не під силу багатьом класичним методам. Особливо це стосується вологості, сипких матеріалів, які широко використовуються завдяки зручності їх зберігання, транспортування та переробки. Хімічна та переробна промисловість використовує та виробляє широкий спектр таких матеріалів: від сировини і продуктів переробки до реагентів та хімічних додатків. Як правило, більшість сипких матеріалів мають гігроскопічні властивості, тому контроль їх вологості є складною проблемою.

Відомо багато різних методик вимірювання вологості твердих тіл, які можна застосувати і для визначення вологості сипких матеріалів. Розглянемо деякі з них, зокрема, їх недоліки та переваги.

Найбільш відомим та поширеним методом вимірювання вологості твердих тіл є ваговий метод. Він базується на вимірюванні ваги матеріалу до і після висушування. Для цього беруть певний об'єм матеріалу, вологість якого необхідно визначити, зважують, висушують, після цього знову зважують. Різниця ваги матеріалу до і після висушування – це кількість води, яка знаходиться у цьому об'ємі [1].

Для визначення вологості використовують електронагрівачі, в яких відбувається сушіння зразка, для вимірювання маси зразка використовуються лабораторні терези та інше обладнання.

Перевагою даного методу є його простота і те, що він не потребує складних пристроїв чи розрахунків.

Основним недоліком цього методу є низька точність вимірювання, оскільки складно визначити закінчення процесу висушування матеріалу. Для точного визначення вологості при великому об'ємі матеріалу необхідно робити серію замірів і опрацьовувати результати статистичними методами. Вимірювання є досить тривалими і не можуть проводитися неперервно. Тому їх складно повністю автома-

тизувати чи зробити вимірювання дистанційними в реальному масштабі часу.

Окремою групою методів визначення вологості є кондуктометричні методи. Вони базуються на зміні основних електричних властивостей матеріалу (опору, діелектричної та магнітної проникності) при зміні його вологості [2].

Для проведення вимірювань вологості використовуються спеціальні давачі, які повинні зменшити дію побічних факторів на процес вимірювання. Прилади можуть видавати безпосередньо значення вологості, або ж необхідно робити певні розрахунки.

Давачі ємнісних вологомірів виконують у вигляді двох плоских пластин чи двох концентричних циліндрів, простір між якими заповнюється аналізованим матеріалом. Давач, як правило, заповнюється шляхом його засипання при вільному падінні матеріалу з певної висоти. Лише тоді досягається висока точність результатів вимірювання.

Серед сучасних методів вимірювання вологості більшість базується на властивості води у матеріалі поглинати чи відбивати різного роду випромінювання. До них належить метод ядерно-магнітного резонансу, опромінення матеріалу швидкими нейтронами чи надвисокими частотами. Тобто по кількості поглинутої, відбитої, видозміненої енергії судять про вміст води в матеріалі.

Ці методи використовують сучасні досягнення науки, давачі для них є дуже складними пристроями, часто для їх використання необхідно приймати заходи додаткової безпеки.

Однак ці методи дозволяють виконувати високоточні вимірювання вологості на відстані без зупинки технологічного процесу для взяття проби сипкого матеріалу.

Судячи з вищенаведених методів, для визначення вологості використовуються практично всі характеристики води: масу, електричні параметри, властивість поглинання та відбиття різного роду випромінювання.

Однак, на нашу думку, при визначенні чи вимі-

рюванні вологості сипких матеріалів знехтувано такою властивістю вологи, як теплоємність, яка є досить чутливою до вологості більшості сипких матеріалів.

Розглянемо запропонований нами метод вимірювання вологості сипких тіл та твердих матеріалів, оснований на залежності “вологість-теплоємність”.

Теплоємність – це величина, яка показує необхідну кількість теплоти, яку необхідно затратити, щоб нагріти одиницю маси тіла на один градус температури.

Існує декілька методів визначення теплоємності тіл. Для нашого випадку доцільно застосувати метод визначення часу, необхідного для нагрівання зразка від однієї температури до другої при сталому підведенні теплоти.

Нехай ми маємо стабільне джерело теплоти. Величину тепла, що виділяється за одиницю часу позначимо q . Тоді за час τ виділиться наступна кількість теплоти:

$$Q = q\tau. \quad (1)$$

За рахунок цієї кількості теплоти відбудеться нагрівання матеріалу масою m , теплоємністю C_m від температури t_1 до температури t_2 , тобто

$$Q = C_m(t_2 - t_1). \quad (2)$$

Якщо вологість матеріалу відмінна від нуля, тоді частина енергії піде на нагрівання вологи в матеріалі, тобто

$$Q = Q_m + Q_v = C_m m_m(t_2 - t_1) + C_v m_v(t_2 - t_1), \quad (3)$$

де Q_m , C_m , m_m – відповідно кількість теплоти на нагрівання матеріалу, його теплоємність і кількість; Q_v , C_v , m_v – відповідно кількість теплоти на нагрівання вологи в матеріалі, теплоємність цієї вологи і її кількість.

У свою чергу можна записати, що:

$$m_v = \varphi m, \quad (4)$$

$$m_m = (1 - \varphi)m, \quad (5)$$

де φ – вологість матеріалу, m – повна маса матеріалу.

З врахуванням (4) і (5) отримаємо, що

$$Q = C_m(1 - \varphi)m(t_2 - t_1) + C_v\varphi m(t_2 - t_1). \quad (6)$$

Отже

$$C_m(t_2 - t_1) = q\tau_1. \quad (7)$$

$$C_m(1 - \varphi)m(t_2 - t_1) + C_v\varphi m(t_2 - t_1) = q\tau_2. \quad (8)$$

Тоді

$$\tau_2 - \tau_1 = (C_m(1 - \varphi)m(t_2 - t_1) + C_v\varphi m(t_2 - t_1) - C_m(t_2 - t_1))/q, \quad (9)$$

$$\phi_2 - \phi_1 = \frac{m(t_2 - t_1)}{q}((1 - \varphi)C_m + \varphi C_v - C_m). \quad (10)$$

Якщо врахувати, що m , t_1 , t_2 і q будуть постійними стали при будь-якому вимірюванні, і ввівши позначення, що

$$a = \frac{m(t_2 - t_1)}{q}, \quad (11)$$

отримаємо, що

$$\phi_2 - \phi_1 = a\varphi C_v - a\varphi C_m, \quad (12)$$

звідки вологість буде визначатися так:

$$\varphi = \frac{\tau_2 - \tau_1}{a(C_v - C_m)}. \quad (13)$$

Як бачимо, даний метод є простим з точки зору розрахунків. На точність вимірювань не мають впливу зовнішні побічні фактори, а використання електронних пристроїв для проведення вимірів часу дозволяє зробити їх високоточними.

Основною проблемою є знайти стабільне джерело теплоти. На нашу думку слід звернутися до так званого ефекту Пельтьє [3], який полягає в наступному. Якщо спаяти два різномірних метали та пропускати через них струм I , то один із спаїв буде нагріватись, а інший охолоджуватись. Досліджено, що кількість теплоти, що виділиться чи буде поглинатися при цьому визначається за такою формулою:

$$Q = P \cdot I \cdot t, \quad (14)$$

де P – коефіцієнт Пельтьє для даної пари металів, t – різниця температур між спаями.

Використання ефекту Пельтьє вигідне з декількох точок зору. По-перше, вимірювання будуть менш енергоємними; по-друге, дане джерело характеризується більшою стабільністю в необхідному діапазоні температур (20...60 °C). По-третє, даний елемент можна використовувати і як нагрівач, так і як джерело температури.

Згідно з вищевказаною формулою (11) буде такою:

$$a = \frac{m(t_2 - t_1)}{P \cdot I} \quad (15)$$

Для спрощення проведення вимірів, розрахунків та обробки результатів пропонується використати електронний блок суміщення даного приладу з персональними комп'ютером. Таке поєднання дозволить значно спростити вимірювання для багатьох матеріалів, так як комп'ютер може зберігати відомості про безліч еталонних матеріалів, їх теплоємності тощо. Окрім того зберігання отриманих даних в комп'ютері дозволить покращити їх обробку, передачу та видачу результатів вимірювання.

Таким чином запропонований метод вирізняється від інших як простотою, так і точністю, що показують приведені вище математичні викладки. Застосування ефекту Пельтьє дозволяє підвищити точність вимірювань та практично звести до мінімуму зовнішні впливи.

1. *Электрические измерения электрических и неэлектрических величин* / Под ред. Е. С. Полищука. - К.: Вища школа, 1984. - 359 с. 2. Жуков Ю. П., Кулаков М. В. *Высокочастотная безэлектродная кондуктометрия*. - М.: Энергия, 1968. - 112 с. 3. Зисман Г. А., Тодес О. М. *Курс общей физики*. - М.: Наука, 1969. - Т. 2. - 368 с.

